

## **Zusammenfassung**

### **Innovationsprozesse im Maschinenbau**

Das Papier befaßt sich mit der historischen Entwicklung von Innovationsprozessen im deutschen Maschinenbau und ihre Konsequenzen für die Struktur der Branche. Ausgangspunkt der Argumentation ist, daß produktionstechnische Innovationsprozesse notwendigerweise einen ausgeprägten Anwendungsbezug aufweisen und daher seit jeher von einer engen Vernetzung verschiedener Akteure charakterisiert sind. Dabei dominieren seit Beginn der Industrialisierung ausgeprägt anwendungsbezogene Innovationsstrukturen mit inkrementellen Innovationen, die nur phasenweise von Innovationsschüben unterbrochen wurden. Seit den 80er Jahren ist allerdings aufgrund des zunehmenden ökonomischen Drucks und neuer technologischer Potentiale ein Auflösungsprozeß des eingespielten Innovationsmusters erkennbar. Damit zusammen hängt zugleich eine Erosion der bisherigen brancheninternen Strukturen des Maschinenbaus und seiner Grenzen nach außen.

## **Abstract**

### **Innovation Processes in the Mechanical Engineering Industry**

This paper deals with the historical development of innovation processes in the German mechanical engineering industry and its consequences for the structure of this industrial sector. Innovation processes in the mechanical engineering industry are characterized by a distinct and stable orientation towards the needs of users and the context in which the new technology is to be used. Innovation here is usually carried on in networks of producers and users. Since the early days of industrialization application-oriented, step-by-step innovation dominated only occasionally interrupted by major shifts in technology. Due to the increasing economic competition and the rise of new potentials in technology-production this traditional innovation pattern has been eroding since the 80ies. As a consequence a significant change of the internal structures and boundaries of the mechanical engineering industry can be observed.

Hartmut Hirsch-Kreinsen, Beate Seitz

## **Innovationsprozesse im Maschinenbau <sup>1</sup>**

### **1. Offene Fragen industriesoziologischer Analyse**

Industriesoziologische Analysen über die Entwicklung von Industriebranchen konzentrieren sich in der Regel auf den Strukturwandel von Arbeit. Die Veränderungen und Entwicklungstendenzen der Arbeit werden dabei als Resultat betrieblicher Rationalisierungsstrategien begriffen und traditionell in den zentralen Dimensionen Technikeinsatz, Arbeitsorganisation und Qualifikationsanforderungen analytisch erschlossen. Aus der Erkenntnis heraus, daß sich Rationalisierungsstrategien kaum mehr aus der Untersuchung der Veränderungen allein auf dem *Shop floor* zureichend erschließen lassen, wurde die analytische Perspektive spätestens seit Ende der 80er Jahre erweitert. Bekannte Kategorie ist die von der „systemischen Rationalisierung“. Danach ist in die Untersuchung von Rationalisierungsprozessen eine prozeßübergreifende Perspektive in inner- und vor allem überbetrieblicher Hinsicht einzubeziehen. In den früheren Untersuchungen in der Regel als Rahmenbedingungen figurierende betriebsexterne Faktoren und Bedingungen werden mit diesem Konzept neben den innerbetrieblichen gleichermaßen als Objekt des neuen Typus von Rationalisierungsstrategien begriffen.

In jedem Fall allerdings spielt die Analyse des Technikeinsatzes eine wichtige und unverzichtbare Rolle. In der traditionellen Analyse der Entwicklung von Arbeit in Form der Fertigungstechnik als wichtiger Einflußfaktor auf ihren Wandel und ihre Gestaltungsmöglichkeiten; in der erweiterten Perspektive der systemischen Rationalisierung in Form der rechnerintegrierten „Produktions- und Organisationstechnologie“ als funktional unverzichtbare Voraussetzung eines auf den Gesamtprozeß der Produktion gerichteten Rationalisierungszugriffs. In diesen Zusammenhängen liegt wohl der entscheidende Grund für die trotz des Anfang der 90er Jahre aufkeimenden Technikskepsis ungebrochen kontinuierliche Verbreitung Rechnerintegrierter Techniksyste me wie PPS- und DNC-Systemen gerade auch im Maschinenbau (vgl. Hauptmanns/Drescher 1999).

---

<sup>1</sup> Thesen zum DFG-Rundgespräch „Der Maschinenbau in den 90er Jahren. Analysen zur Kontinuität und Wandel einer Branche“, Ruhr-Universität Bochum, 27./29.Mai 1999.

Freilich greift auch der erweiterte analytische Zugriff für die Beantwortung der Frage nach der Entwicklung einer ganzen Branche, ihrer Kontinuität und ihrem Wandel, zu kurz. Ausgeblendet bleibt dabei die Dimension der Produktinnovation und die Frage, wie diese verlaufen, organisiert sind und welche Konsequenzen die Ergebnisse von Innovationsprozessen für die strukturelle Branchenentwicklung insgesamt haben. Nicht zuletzt müssen gerade aber auch die Organisation von Innovationsprozessen und ihre Resultate in Form bestimmter Produkte als ganz zentrale Einflußfaktoren auf den Wandel der Produktions- und Arbeitsprozesse im jeweils gleichen Unternehmen angesehen werden.

Nur wenige deutschsprachige industriesoziologische Studien haben bislang diese Zusammenhänge, eben die Wechselwirkung zwischen dem „Wie“ und dem „Was“ der Produktion (vgl. Wittke 1996), thematisiert. Bezogen auf den Maschinenbau finden sich hier in den letzten Jahren einmal Untersuchungen einer Arbeitsgruppe des SOFI-Göttingen, in denen vor allem die betriebsinterne Organisation von Innovationsprozessen und der damit verbundene Wandel technisch-geistiger Arbeit im Zentrum der Analyse stand (Wolf u.a. 1992; Kalkowski u.a. 1995). Zu nennen ist weiterhin eine Studie von Jürgens u.a., die sich auf die Untersuchung von Kooperations- und Kommunikationsmustern in Prozeßketten der Produktentstehung in verschiedenen Branchen, auch im Maschinenbau, im internationalen Vergleich richtete (Jürgens/Lippert 1997).<sup>2</sup> Schließlich ist eine von Braczyk (1997) herausgegebene zusammenfassende Studie über neue Innovationsstrategien im Maschinenbau zu nennen.<sup>3</sup>

Diese Diskussion soll im folgenden in historischer Perspektive aufgegriffen werden. Präsentiert werden sollen einige Thesen zur historischen Entwicklung der Innovationsprozesse im Maschinenbau, ihrer Organisations- und Koordinationsformen und die damit zusammenhängenden Konsequenzen für die Struktur dieser Branche.<sup>4</sup> Die Argumentation umfaßt folgende einzelne Schritte: zunächst werden die spezifischen Merkmale produktionstechnischer Innovationen zusammengefaßt, dann wird ihre historische Entwicklung genauer beschrieben, anschließend wird der Wandel der Innovationsmuster seit den 80er Jahren analysiert und schließlich werden einige Konsequenzen für die Branche und ihre Strukturen resümiert.

---

<sup>2</sup> Einen Überblick über die Innovationstätigkeit des Maschinenbaus liefern auch die aggregierten Daten des NIFA-Panels (vgl. Mitteilungen für den Maschinenbau, Ausgabe 17).

<sup>3</sup> In einer techniksoziologischen Perspektive hat jüngst Kowol eine Untersuchung über Innovationsnetzwerke im Maschinenbau vorgelegt (1998).

<sup>4</sup> Die Materialbasis bildet die Durchsicht einschlägiger technikhistorischer und techniksoziologischer Studien und die Ergebnisse einer jüngst abgeschlossenen empirischen Studie über den Strukturwandel des Marktes für Produktionstechniken (Bieber u.a. 1997).

## 2. Besonderheiten produktionstechnischer Innovationsprozesse

Technische Innovationsprozesse zeichnen sich durch ein hohes Maß an Risiken und Unsicherheiten aus: die Ungewißheit in Hinblick auf den erreichbaren technischen und ökonomischen Erfolg einer Innovation, den in der Regel immer nur begrenzt vorausplanbaren Ablauf des Innovationsprozesses mit seinen Zwischenschritten und unerwartet auftretenden Entscheidungssituationen und schließlich die daher nur schwer kalkulierbaren Innovationskosten (vgl. auch: Noble 1977: 5). Resultat sind je nach Situation mehr oder weniger ausgeprägte Innovationsdilemmata, die von den Unternehmen bewältigt werden müssen. Eines dieser Dilemmata resultiert aus dem Widerspruch zwischen dem häufig unkalkulierbaren Innovationsaufwand einerseits und den Restriktionen knapper Zeiten, Kosten und Kapazitäten andererseits, die Ergebnis des ökonomischen Drucks sind, unter dem Innovationen in der Industrie verlaufen.

Ein weiteres zentrales Dilemma industrieller Innovationsprozesse begründet sich in dem Spannungsverhältnis zwischen der Logik des Entwicklungsprozesses einerseits und den Erfordernissen der praktischen Anwendung von Techniken andererseits. Obgleich je nach Branche und Technologiefeld verschieden, ist davon auszugehen, daß Entwurfs- und Entwicklungsprozesse im Verlauf der Industrialisierung einer zunehmenden Verwissenschaftlichung unterliegen, die auf eine Formalisierung, Modellierung und Beherrschbarkeit der realen Anwendungsgegebenheiten einer Technik hinausläuft. Diese Entwurfslogik neuer Techniken ist dabei konfrontiert mit den praktischen Bedingungen ihrer Anwendung: der Komplexität und Kontingenz stofflicher, ökonomischer und sozialer Bedingungen beim Einsatz neuer Techniken. Als Voraussetzung der problemlosen Anwendbarkeit einer neuen Technik müssen beide Logiken aufeinander abgestimmt werden; die Entwurfs- und Entwicklungslogik bedarf der Ergänzung und Modifikation durch Praxis und Erfahrung.<sup>5</sup>

Erforderlich sind daher Rückkopplungsschleifen zwischen Entwicklung und Anwendung, in denen die divergierenden Entwicklungsbedingungen und Anwendungserfordernisse abgeglichen, damit zusammenhängende Wissensbestände ausgetauscht und divergente Interessen zur Übereinstimmung gebracht werden können. Je nach Technologiefeld kann es sich dabei beispielsweise um Abstimmungsnotwendigkeiten zwischen grundlagenorientiert arbeitenden Naturwissenschaftlern und anwendungsbezogenen Ingenieuren oder zwischen Entwurfsingenieuren und ausgesprochenen Betriebspraktikern handeln. Entwickler werden auf diese

---

5 Zu den Begriffen Verwissenschaftlichung und Praxis vgl. z.B. Hirsch-Kreinsen 1993: 33 ff. und die dort angegebene Literatur.

Weise unter Umständen zur Modifikation, Anpassung oder gar grundlegenden Revision der von ihnen entworfenen neuen Techniken veranlaßt. Diese Rückkopplungsprozesse zwischen Entwicklung und Anwendung sind zumeist überbetrieblicher Natur, denn sie verknüpfen nicht selten verschiedene gesellschaftliche Teilsysteme miteinander. Sie können dabei durch verschiedene Verlaufsformen und Koordinationsmechanismen geprägt sein, die, folgt man der einschlägigen innovationsökonomischen Debatte, die im Spektrum von Markt über Netzwerk bis hin zu Hierarchie angesiedelt sein können (vgl. z.B. DeBresson/Amesse 1991).

Im Fall der Entwicklung von Produktions- und Fertigungstechniken zeigen nun diese grundlegenden Zusammenhänge folgende Besonderheiten: Produktionstechniken sind zentrales Element im Prozeß industriell-kapitalistischer Rationalisierung, sie müssen sich unter ökonomischen Bedingungen „bewähren“. Sie müssen so beschaffen sein, daß sie eine in kosten- wie zeitmäßiger Hinsicht konkurrenzfähige Produktion von Waren einer bestimmten Qualität erlauben. Ihre Anwendung und ihre Innovation stehen unter dem Druck des Rentabilitätskalküls der Anwender, das auf die Minimierung von Entwicklungskosten und die Amortisierung vorhandener Maschinen und Anlagen drängt; produktionstechnische Innovationen sind Element der in der Industrie vorherrschenden Prozesse „schleichender“ Rationalisierung. Insofern weist produktionstechnische Entwicklung einen ausgeprägt inkrementellen Charakter auf und Entwicklungssprünge oder „technologische Paradigmenwechsel“ (Dosi 1982) sind selten.

Aufgrund dieses besonderen Charakters von Produktionstechniken sind ihre Entwicklungsprozesse mehr oder weniger direkt dem Einfluß von Anwenderinteressen und Anwendungsproblemen ausgesetzt, und es finden sich enge Rückkopplungsschleifen zwischen Entwicklung und Anwendung. Daher wird produktionstechnische Entwicklung auch als organisationsinterner und -externer „rekursiver Prozeß“ (Asdonk u.a. 1991) oder als „Kreislaufprozeß zwischen Entwicklung, Herstellung, Anwendung und Weiterentwicklung“ (Hirsch-Kreinsen 1993) begriffen. Anders formuliert: konstitutiv für produktionstechnische Entwicklungsprozesse sind kooperative Koordinationsformen innerhalb relativ stabiler Netzwerke, die von den verschiedenen an der Entwicklung, Herstellung und Anwendung beteiligten Akteure gebildet werden.<sup>6</sup> Innerhalb dieser Netzwerke bleibt das Spannungsverhältnis zwischen Entwurf und Anwendung in der Regel beherrschbar.

---

6 Der Begriff des Netzwerks wird hier weit gefaßt und weist folgende konstitutive Merkmale auf: lose Kopplung und zugleich längerfristige Reziprozitätsbeziehungen zwischen den Akteuren, Interdependenz der Akteure und Machtungleichgewichte zwischen ihnen (vgl. Grabher 1994: 70 f.).

### 3. Zur historischen Entwicklung des Maschinenbaus

#### 3.1 Frühe Formen von Innovationsprozessen

Historisch sind nun im Zuge der Industrialisierung schon sehr frühzeitig Tendenzen der Netzwerkbildung zwischen den an der produktionstechnischen Entwicklung beteiligten Unternehmen und Organisationen erkennbar. Rosenbergs instruktive Analyse der Entstehung des amerikanischen Werkzeugmaschinenbaus (Rosenberg 1975) belegt diese Tendenz schon für die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts. So waren in den ersten Phasen der Maschinisierung industrieller Produktionsprozesse in den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts in Großbritannien und auch den USA Hersteller und Anwender von Produktionstechniken vielfach identisch und benötigte Maschinen wurden von den Anwendern auf einer Ad-hoc-Basis in unmittelbarem Bezug zu ihren praktischen Fertigungsproblemen hergestellt (ebd.: 218 ff.). Wenige Jahrzehnte später gründeten sich selbständige Maschinenbaufabriken; schrittweise fand dabei ihre Spezialisierung auf bestimmte Maschinen und Produktionsmittel, so etwa Werkzeugmaschinen und Textilmaschinen verschiedenster Typen und Leistungsfähigkeit, statt. Dieser Prozeß der Ausdifferenzierung ist zugleich von einer sich intensivierenden Vernetzung zwischen den verschiedenen Herstellern und Anwendern gekennzeichnet, da nur auf diesem Wege die Verbreitung und problemlose Anwendung der Maschinen gewährleistet war. Diese Vernetzung ist die Voraussetzung für jenen Prozeß, den Rosenberg als „technologische Konvergenz“ faßt. Gemeint ist damit, daß die gleichen oder ähnlichen technologischen Prinzipien und Verfahren in den verschiedensten, im Zuge der Industrialisierung sich fortlaufend ausdifferenzierenden Industriesektoren Verwendung finden. Rosenberg beschreibt diese Zusammenhänge am Beispiel der ständigen Weiterentwicklung und Verbreitung der Revolverdrehbank und der Universaldrehmaschine in den USA. Die Entwicklung dieser Techniken nahm im frühen 19. Jahrhundert ihren Ausgang im Rahmen einer engen Kooperation zwischen einzelnen Werkzeugmaschinenbetrieben und Waffenherstellern, um dann mit ständiger Anpassung und Weiterentwicklung in den Industrien der Nähmaschinenproduktion, Fahrradherstellung und später in der Automobilindustrie zu diffundieren.

Kern des Vorganges der technologischen Konvergenz verschiedener Industriezweige und Produktionsprozesse ist mithin der Transfer gleicher oder ähnlicher technologischer Prinzipien und Verfahren wie Fräsen, Drehen, Schleifen von einzelnen, für spezialisierte Anwendungsfälle ausgelegte Maschinen und Anlagen hin zu generellen, in verschiedenen Industriezweigen und Prozeßtypen nutzbaren Fertigungstechniken. Dieser Transferprozeß ist damit

Voraussetzung wie auch Folge des industriellen Wachstumsprozesses, da er ökonomische Wachstumsmöglichkeiten eröffnet und zugleich Resultat neuer Produktionstechniken ist. Ein wichtiger Akteur war die im 19. Jahrhundert aufkommende Maschinenbau- und Werkzeugmaschinenindustrie, von deren „Lernfähigkeit“ (ebd.: 224), d.h. ihrer Innovationsfähigkeit es entscheidend abhing, daß kostensenkende und kapitalsparende produktionstechnische Innovationen rasch diffundieren und damit Wachstum stimulieren konnten. Die Innovationsfähigkeit basierte dabei in hohem Maße auf der Vernetzung mit weiteren Akteuren, besonders eben industriellen Anwendern.

In Deutschland verliefen dieser Prozeß der Ausdifferenzierung, der Gründung eigenständiger Herstellerfabriken und damit die Entstehung einer eigenständigen Maschinenbaubranche im wesentlichen ab der Mitte des 19. Jahrhunderts. So entstanden die ersten eigenständige Textilmaschinenfabriken in den 50er und 60er Jahren (z.B. Silver 1984: 56); auch der Werkzeugmaschinenbau entstand in dieser Zeitspanne; er ging teilweise unmittelbar aus dem Textilmaschinenbau hervor (Buxbaum 1919: 106 ff.; Mommertz 1981: 111ff; Paulinyi 1989: 105 ff.). Aber auch schon frühere Entwicklungen dieser Art - wie etwa die Gründung des Hüttenwerkes in Wetter 1819 (Matschoß 1919: 55 ff.) - sind ausführlich dokumentiert: zunächst wurden in einer für die Fabrikation von Dampfmaschinen ausgelegten Fabrik sämtliche benötigten Fertigungsmaschinen selbst hergestellt; je nach Geschäftslage und Verkaufsmöglichkeiten wurden darüber hinaus neben dem eigentlichen Produkt Dampfmaschine, Werkzeugmaschinen nicht nur für den eigenen Gebrauch, Textilmaschinen und sogar Wasserkraftmaschinen gebaut. In einem nächsten Entwicklungsschritt wurden dann einzelne Fabrikbereiche ausgegliedert und damit ein Prozeß der Spezialisierung eingeleitet. Dieser war allerdings immer verschränkt mit den Interessen und dem Einfluß von Anwendern aus der Waffenindustrie, dem Werftensektor oder der Hüttenindustrie, zu denen langjährige Beziehungen bestanden (vgl. auch Radkau 1989: 87).

Zentrales Merkmal dieses frühen Prozesses der Industrialisierung und Technikentwicklung waren nicht nur teilweise sehr enge und ausgeprägte Hersteller-Anwenderbeziehungen, sondern auch ein intensiver Prozeß eines regionalen wie aber insbesondere auch internationalen „Technologietransfers“ zwischen den damals weiter entwickelteren Ländern Großbritannien und USA einerseits sowie dem industriell aufstrebenden Deutschland andererseits (z.B. Matschoß 1919: 7 ff.; Ruby 1993: 10 ff.). Dieser Transfer von technologischen Wissen und Maschinenkonzepten basierte teilweise auf engen personellen Kontakten der Unternehmer und häufigem Personalaustausch gerade auch von technisch qualifizierten Werkstattpersonal zwischen verschiedenen Betrieben. Bekanntlich ist der weitere Verlauf der Historie nun aller-

dings von einem zunehmend eigenständigen deutschen Entwicklungsprozeß des Maschinenbaus und einer fortschreitenden Verwissenschaftlichung der produktionstechnischen Entwicklung geprägt.

Resümiert man die technikhistorische Literatur über die weitere Technikentwicklung im Maschinenbau, so wird verschiedentlich zwischen ruhigen und kontinuierlich verlaufenden Phasen der „Produktstabilität“ (Wolf u.a. 1992: 46) und Perioden großer technologischer Aufschwünge unterschieden.<sup>7</sup> In beiden Phasen prägen sich die skizzierten Vernetzungszusammenhänge unterschiedlich aus.

### **3.2 Anwenderorientiertes Innovationsmuster**

Ein ausgeprägter Anwendungs- und Praxisbezug dominiert seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts über lange Phasen die produktionstechnische Entwicklung. Es bezeichnet den „Normalfall“ inkrementaler Innovationen, die sich in hohem Maße an Anwenderinteressen ausrichten bzw. von diesen angestoßen werden. Beteiligt an Innovationsprozessen sind mit anderen Worten immer nur eine begrenzte Zahl von Entwicklern bzw. Herstellern und Anwendern. Hinzu kommen eine Reihe direkter oder indirekter Zulieferbeziehungen sowie weitere unterstützende Institutionen etwa aus dem Wissenschaftsbereich. Dieses Innovationsmuster ist mehr oder weniger ausgeprägt in den wichtigen Teilbranchen des Maschinenbaus anzutreffen. Bekannte Beispiele hierfür sind der Textilmaschinenbau (z.B. Bechtle/Lang 1994), der Druckmaschinenbau (z.B. Porter 1991: 203 ff.) und der Werkzeugmaschinenbau (z.B. Hirsch-Kreinsen 1993: 183 ff.).

Freilich lassen sich hierbei, je nach konkreten Produkttypus verschiedene „Maschinenbaukulturen“ unterscheiden. Sie finden sich im Werkzeugmaschinenbau einmal im Bereich von Standardmaschinen, die für einen vergleichsweise anonymen Markt hergestellt werden. Die Herstellung von Standardmaschinen orientiert sich in der Regel an einem bestimmten, etwa branchenmäßig abgrenzbaren Anwendungsfeld, dessen spezifische Erfordernisse und Bedingungen bei der Entwicklung der Maschinen unabhängig von den Bedingungen und Interessen einzelner Anwender Berücksichtigung finden. Besonders ausgeprägt findet sich diese Entwicklung in Deutschland etwa ab 1885 mit der Entwicklung und Herstellung der verschiedensten Typen standardisierter Maschinen (vgl. Freyberg 1989: 38ff.). Als Beispiel hierfür kann ein schwäbischer Drehmaschinenhersteller angeführt werden, der über sehr viele Jahrzehnte seine Maschinenentwicklung vor allem auf die Anwendungsbedingungen einer großen

---

<sup>7</sup> Vgl. z.B. auch Matschoß (1919: 177); Benad-Wagenhoff (1989); in einer generellen Perspektive Radkau (1989: 176).

Zahl regional konzentrierter Kleinunternehmen und „Garagenbetriebe“ abgestellt und dort auch hauptsächlich abgesetzt hat, bevor er vor wenigen Jahren schließen mußte.

Eine etwa anders ausgeprägte „Maschinenbaukultur“ findet sich im Werkzeugmaschinenbau insbesondere im Fall des Sondermaschinenbaus. Hier besteht in der Regel ein hoher und langjährig eingespielter Einfluß einzelner u.U. großer Anwender auf die Entwicklung und Weiterentwicklung der produktionstechnischen Systeme. Dokumentiert sind für den deutschen Maschinenbau solche Beziehungen für die Zeit ab 1870, wo beispielsweise im Werkzeugmaschinenbau ein Übergang zur Entwicklung von Sondermaschinen unter dem Einfluß der damals neu entstandenen Großunternehmen wie Siemens und Ludwig Loewe beobachtbar war (Freyberg 1989: 37 ff.). Vergleichbar ist die Situation in den 20er Jahren. Der damals beginnende Übergang zur Massenproduktion in einige Bereichen der Elektrotechnischen Industrie, der Automobil- und der Konsumgüterindustrie erforderte immer spezifischere, an die jeweiligen Fertigungsprozesse angepaßte hochleistungsfähige Maschinen, die der Werkzeugmaschinenbau in enger Abstimmung mit den jeweiligen Großanwendern entwickelte und produzierte (vgl. Freyberg 1989: 227 f.). Diese festgefügteten Entwickler-Anwenderbeziehungen fanden sich dann insbesondere auch in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts unter den Bedingungen der jetzt weitverbreiteten Massenproduktion.

Die Betriebe des Maschinenbaus waren offenbar über lange historische Phasen in der Lage, die erforderlichen inkrementellen Innovationsschritte zu leisten. Voraussetzung hierfür war freilich, daß sie über ihre Anwenderbeziehungen hinaus in überbetriebliche Innovationszusammenhängen eingebunden waren, über die sie sich die erforderlichen Innovationsressourcen beschafften; seit Beginn des 20. Jahrhunderts wurden diese Aktivitäten vielfach als „Gemeinschaftsarbeit“ bezeichnet (Matschoß 1919: 210). Es handelt sich dabei besonders um Entwicklungsaktivitäten, die in Kooperation mit den damals entstehenden ingenieurwissenschaftlichen Hochschulinstituten vorangetrieben wurden. Typische Beispiele hierfür sind die schrittweise Entwicklung der Normungs- und Passungssysteme zu Beginn des Jahrhunderts, die Einführung der Schnellarbeitswerkzeuge, mit denen die Leistungsfähigkeit der Werkzeugmaschinen deutlich gesteigert werden konnte und die kontinuierliche Steigerung der Automatisierung bestimmter Maschinentypen seit den 50er Jahren (vgl. z.B.: Benad-Wagenhoff 1989: 208 ff.; Freyberg 1989: 91 ff.). Bis heute können im Bereich des Maschinenbaus diese engen Kooperationsbeziehungen zwischen der Industrie und dem Wissenschaftsbereich als Besonderheit industrieller Innovationsprozesse in Deutschland angesehen werden (vgl. Radkau 1989: 155ff.).

Daneben sind auch immer wieder Ansätze von kooperativen Entwicklungsaktivitäten zwischen verschiedenen, teilweise miteinander konkurrierenden Maschinenbauunternehmen erkennbar. Hervorzuheben ist hier insbesondere die Ende der 20er Jahre gestartete Initiative mehrere Drehmaschinenfabriken eine sog. „Einheitsdrehbank“, eine Drehmaschine basierend auf standardisierten Komponenten zu entwickeln. Absicht war, damit der Vielfalt kundenspezifischer Sondermaschinen entgegenzuwirken und auf diesem Wege Rationalisierungseffekte erreichen zu können (Freyberg 1989: 277ff.).<sup>8</sup>

Eine vermittelnde Rolle zwischen den verschiedenen an Innovationen beteiligten Unternehmen kommt seit dem Ende des letzten Jahrhunderts in Deutschland Verbänden und verschiedenen ingenieurwissenschaftlichen Communities zu. Zu nennen sind hier vor allem die bekannten Verbände wie der VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.), der Ende des 19. Jahrhunderts von der Industrie und Hochschulvertretern gegründete VDW (Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V.), der VDI (Verein Deutscher Ingenieure), die in den 20er Jahren gegründeten Verbände RKW (Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit) und AWF (Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung) wie auch die 1954 gegründete AIF (Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsgemeinschaften). Insbesondere der VDMA sah es schon in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts als seine vorrangige Aufgabe an, über die Vertretung der wirtschaftlichen Interessen der Branche hinaus, die zwischenbetriebliche Zusammenarbeit zwischen den zumeist kleinen Maschinenbaufabriken zu initiieren und zu stärken, um auf diesem Wege Innovations- und Rationalisierungsvorteile zu schaffen (vgl. Freyberg 1989: 259 ff.). Eine wichtige Vermittlungsfunktionen haben hierbei insbesondere die mehr oder weniger kontinuierlich tagenden Erfahrungsaustauschgruppen beim VDMA und VDI und die Fachgliederungen des VDI. Auch die seit 1920 existierende VDI-Gesellschaft für Produktionstechnik, vormals Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure (ADB), spielt in den angesprochenen kooperativen Prozessen als Forum für Diskussionen und Kontaktanbahnung eine nicht unwichtige Rolle. Über die zum Teil staatlich finanzierte AIF werden finanzielle Mittel für anwendungsorientierte FuE-Projekte bereitgestellt, die in enger Kooperation zwischen wissenschaftlichen Instituten und Maschinenbaubetrieben bearbeitet werden.

Insgesamt gesehen gewährleistete das anwendungsorientierte Innovationsmuster über Jahrzehnte hinweg die zuverlässige Entwicklung jener Produktionstechniken, die von den Anwenderbetrieben für die laufende Rationalisierung ihrer Produktionsprozesse benötigt wurden.

---

<sup>8</sup> Exemplare der VDF-Einheitsdrehbank (VDF: Vereinigte Drehbankfabriken) fanden sich in manchen Betrieben bis weit in die 70er Jahre hinein.

Dies trifft insbesondere für das letzte Drittel des 19. Jahrhunderts und für die Mitte des 20. Jahrhunderts bis in die 70er Jahre hinein zu; insbesondere die Phase der „fordistischen“ Nachkriegsprosperität war von der kontinuierlichen Weiterentwicklung bestehendem Know hows und vorhandener Maschinenkonzepte und ihrer Anpassung an die Erfordernisse der damals auf breiter Front sich durchsetzenden Massenproduktion gekennzeichnet (Radkau 1989: 227/313). Technikhistorischen Untersuchungen zufolge wurden im Rahmen der hier vorherrschenden institutionellen Arrangements die entscheidenden produktionstechnischen Innovationen vorangetrieben; diese seien eben nicht „einzigartig“, sondern Resultat der „systematischen Durcharbeitung“ bei ihrer werkstattmäßigen praktischen Realisierung (Benad-Wagenhoff 1989: 215). Vor allem wurden dabei die im Einzelfall durchaus divergierenden Interessen zwischen Entwicklern und Herstellern einerseits und verschiedenen Anwendern andererseits immer wieder zur Übereinstimmung gebracht. Wie von Freyberg am Beispiel der fortlaufenden Entwicklung der Automatisierung der Werkzeugmaschinen in den 20er Jahren instruktiv gezeigt (1989: 97 ff.), ist der maßgebliche Koordinationsmechanismus dabei die strukturelle Dominanz bestimmter Anwenderunternehmen, die letztlich ihre Interessen an bestimmten Entwicklungsschritten durchsetzen.

Eine Folge dieser Situation war, daß der Mehrzahl der Maschinenbaubetriebe eine Fertigung auf Lager, also für einen anonymen Markt nicht möglich war. Für kundenspezifisch zu fertigende Produkte war daher die Einzel- und Kleinserienfertigung die angemessene Produktionsweise, war der kleine oder mittlere Betrieb die adäquate Produktionsstätte. Trotz seit einigen Jahren deutlichen Konzentrationstendenzen auf der Ebene der Kapital- und Eigentumsverhältnisse (s.u.) ist diese Struktur des Maschinenbaus bis heute in hohem Maße bestehen geblieben; sie ist geprägt durch den eher mittelständischen Betrieb, der überwiegend in kleinen Serien nach speziellen Kundenanforderungen seine Produkte fertigt. Ganz ohne Frage macht die kundenindividuelle Fertigung nach wie vor die Stärke des deutschen Maschinenbaus aus. Durchschnittlich ist der Anteil der kundenindividuellen Fertigung von 1994 bis 1998 von 53 auf 59 Prozent angestiegen. Dementsprechend wird überwiegend nach Einzelaufträgen gefertigt: Trotz einiger Schwankungen liegt der Anteil bei 75 Prozent. Lediglich 10 Prozent der Produktfertigung erfolgen ohne konkret vorliegenden Auftrag.<sup>9</sup>

### **3.3 Innovationsschübe**

Vom Normalfall des anwenderorientierten Innovationsmusters mit seinen inkrementellen Entwicklungsschritten sind allerdings Phasen teilweise deutlicher Technologiesprünge zu

unterscheiden. Diese lösen die anwendungsorientierten Phasen nicht ab, sie sind vielmehr eng miteinander verschränkt. Die anwendungsorientierten Arrangements werden phasenweise organisatorisch und institutionell ergänzt, überwölbt und verändert, um dann in der Regel wieder in einen Prozeß inkrementaler und anwendungsorientiert verlaufender Innovationenmuster zu münden. Hauptmerkmal der Phasen von Innovationsschüben ist, daß die eingespielten Netzwerkbeziehungen durch neue Akteure auf der Entwicklerseite erweitert werden und die üblicherweise dominierenden Anwenderinteressen zurückgedrängt werden. Diese neuen Akteure drängen auf die Nutzung neuer Technologien, die nicht unbedingt kompatibel mit den bisher verfolgten Entwicklungskonzepten sind und vor allem in deutlicher Distanz zu den Erfordernissen und eingefahrenen Praktiken der Anwender stehen. Daraus resultieren nicht nur gesteigerte Unsicherheiten in Hinblick auf die Innovationsergebnisse, sondern u.U. auch ausgeprägte Interessendivergenzen zwischen den neuen Akteuren, den Herstellern aus dem Maschinenbau und den Anwendern. Es entsteht dabei oftmals ein ausgeprägtes Spannungsverhältnis unterschiedlicher Innovationsinteressen, das im Rahmen der sich wandelnden Netzwerkstrukturen nicht immer einfach zu bewältigen ist, ja als prekär begriffen werden kann.

Auf der Basis des vorliegenden Materials lassen sich mehrere Phasen der Entwicklung produktionstechnischer Systeme ausmachen, mit denen mehr oder weniger ausgeprägte Technologiesprünge einhergehen. Dies gilt zum einen für den Zeitraum zu Beginn des 20. Jahrhunderts, als in Deutschland die ingenieurwissenschaftlichen Institute auf breiterer Front gegründet wurden. Sie versuchten als neue, zunächst einmal relativ anwendungsferne Institutionen den Prozeß der Technikentwicklung in ihrem an wissenschaftlichen Status und akademischer Reputation orientierten Interesse zu beeinflussen (Radkau 1989: 133). Wohl nicht zuletzt aus diesem Grund propagierten prominente Ingenieurwissenschaftler seit Beginn des Jahrhunderts vor allem amerikanisch orientierte Entwicklungsmethoden und Maschinenkonzepte, mit denen sich weitreichende und neue Entwicklungsperspektiven verbinden ließen, die aber teilweise auf nachhaltigen Widerstand seitens der Maschinenbauunternehmen stießen (Freyberg 1989: 126f.). Typisches Beispiel waren Anfang des 20. Jahrhunderts die Versuche seitens der wissenschaftlichen Institute eine Typisierung von Werkzeugmaschinen durchzusetzen, während der Werkzeugmaschinenbau gerade in einer großen Typenvielfalt Absatzchancen sah. Umstritten waren auch die damals schrittweise eingeführten Passungssysteme, die nicht zuletzt das „Fingerspitzengefühl“ der Werkstattarbeiter zu entwerten und damit weit-

---

9 Vgl. SFB 187 (1995); eigene Berechnungen der NIFA-Daten 1994-1998 (vgl. NIFA-Panel 1997).

reichende Konsequenzen für die Personal- und Qualifikationsstruktur der Belegschaften des Maschinenbaus zu haben drohten (vgl. Radkau 1989: 225).

Eine vergleichbare Situation läßt sich zum zweiten für jene Phasen ausmachen, die Resultat der wachsenden Verbindung des Maschinenbaus mit der im späten 19. Jahrhundert sich etablierenden Elektrotechnischen Industrie sind. Es entstand der weite Bereich der Elektromechanik bzw. des Elektromaschinenbaus. Bei dieser zunehmend wichtigeren „Querverbindung“ zwei ursprünglich deutlich voneinander getrennter Branchen und Disziplinen waren zahllose Barrieren und Widerstände zu überwinden, die einer wirksamen Vernetzung entgegenstanden (ebd.: 123ff.). Typisches Beispiel hierfür ist die Einführung des elektrischen Einzelantriebs anstelle der bis dahin verwendeten Transmissionssysteme für den Antrieb der Maschinen (vgl. z.B. Wengenroth 1987; Benad-Wagenhoff 1989: 209). Radkau bezeichnet die Einführung des elektrischen Einzelantriebs im Maschinenbau als „die große Stunde der Ingenieure“, durch die das „Erfahrungswissen der Meister“ entwertet wurde (1989: 257).

Auch wenn schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts erfolgreiche Maschinenbauinnovationen auf der Basis elektrischer Einzelantriebe stattfanden - so wird über die erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen einem Kranhersteller, einem Fabrikanten von Elektromotoren und einem Anwender bei der Entwicklung eines elektrisch angetriebenen fahrbaren Drehkrans schon 1896 berichtet (vgl. Matschoß 1919: 175) - konzentrierte sich die breite Einführung dieses Antriebs insbesondere im Werkzeugmaschinenbau jedoch auf die 20er Jahre. Die Lösung der dabei auftretenden Entwicklungsprobleme, nämlich die Wahl der Stromart und die konstruktive Integration von Antrieb und Maschinen, wurden von zum Teil kontroversen Interessen beeinflusst. So war für die Elektrotechnische Industrie, namentlich für die damaligen Konzerne AEG und Siemens, als Entwickler der Antriebsmotoren die Durchsetzung ganz bestimmter Motorentypen immer auch eine Frage des Umsatzes. Damit versuchten sie nachhaltig die Entwicklungsarbeiten an den Produktionsmaschinen zu beeinflussen. Da mit den Motoren und Antriebstypen gewichtige technische Entwicklungsdaten gesetzt wurden, geriet der Werkzeugmaschinenbau in relativ große Abhängigkeiten von der Elektroindustrie. In Kontrast dazu standen wiederum die sehr divergierenden Anwenderinteressen. Sie hatten teilweise nur wenig Interesse an den neuen Antrieben, da dadurch bisherige Investitionen nachhaltig entwertet wurden und wohl beträchtlich Neuinvestitionen notwendig wurden.

Um die Divergenzen auszubalancieren, wurde dieses Entwicklungsgebiet ein wichtiges Feld überbetrieblicher Kooperation (vgl. Freyberg 1989: 83f.). Wie das Beispiel der Entwicklung eines Spezialantriebes für Hobelmaschinen zeigt, wurden die neuen Antriebstechniken teilweise in sehr intensiver überbetrieblicher Zusammenarbeit - hier zwischen der Elekt-

rofirma AEG und der Maschinenbaufirma Schieß - entwickelt (ebd.: 95). Allgemeines Resultat war, daß der Elektromotor im Verlauf der 20er Jahre ein zunehmend genaueres, an die Funktionen der Werkzeugmaschine angepaßtes Bauelement geworden war.

Erkennbare Innovationsschübe im Maschinenbau lassen sich erst wieder im Zusammenhang mit den Möglichkeiten der Mikroelektronik ab dem Ende der 60er Jahre beobachten. Als Beispiel hierfür kann die Einführung der NC-Steuerungen für Werkzeugmaschinen in den 60er und 70er Jahren angesehen werden (vgl. Hirsch-Kreinsen 1993: 105 ff.). Dieser Innovationsschub verlief zunächst im Kontext eines auseinanderdriftenden Innovationsmusters. Auf der einen Seite wurde diese Innovation von einigen wenigen größeren Werkzeugmaschinenunternehmen und vor allem Elektrotechnischen Unternehmen vorangetrieben. Auf der anderen Seite standen viele Werkzeugmaschinenunternehmen und die Mehrzahl der Maschinenanwender der neuen Technik aufgrund ihrer Komplexität und unkalkulierbaren Kosten sehr skeptisch gegenüber. Die Folge war ein bis in die 80er Jahre hinein sehr zögerliche Diffusion dieser neuen Technik. Erst als mit Beginn der 80er Jahre nicht zuletzt infolge eines verstärkten Einflusses des Werkzeugmaschinenbaus auf die Innovationsprozesse vermehrt einfachere werkstatorientierte NC-Konzepte auf den Markt kamen, fand diese Innovation auch eine immer breitere Anwendung.

#### **4. Wandel der Innovationsbedingungen seit den 80er Jahren**

Seit den 80er Jahren erodiert das Wechselspiel zwischen längerfristig verlaufenden anwendungsorientierten Phasen mit ihrer relativen „Produktstabilität“ und den Phasen technologischer Schübe, die jeweils wieder in die vergleichsweise stabilen Innovationsarrangements einmünden. Die Erosion der eingespielten Innovationsmuster ist zum einen Folge der neuen und erweiterten Potentiale von Wissenschaft und Technologie. Es handelt sich dabei nicht nur um Konsequenzen der rasanten Entwicklung der Informatik und Computertechnologie, sondern auch um neue zu den bisherigen ingenieurwissenschaftlichen Fachrichtungen querliegenden Disziplinen wie Mikrosystemtechnik, Mechatronik, Optik, Sensorik und die neuen Materialwissenschaften. Zum anderen steht die Erosion in Zusammenhang mit der krisenhaften ökonomischen Situation: die Entwickler und Hersteller werden dadurch gerade auch zu einem nachhaltigen Wandel ihrer bisher verfolgten Innovationsstrategien und der Nutzung der neuen technologischen Potentiale gedrängt; ja es wird gar von einem weitreichenden „technologischen Paradigmenwechsel“ gesprochen, der im Maschinenbau seit längerem im Gange sei (vgl. Häusler 1990: 40). Zudem müssen die Anwender ihre bisher praktizierten Prinzipien einer „schleichenden“ Rationalisierung aufgeben und sie den schnell sich wandelnden kon-

kurrenzintensiven Außenbedingungen anpassen. Einen Hinweis auf diese Entwicklung gibt die ingenieurwissenschaftliche Diskussion über zukünftig notwendige Entwicklungsrichtungen von Werkzeugmaschinen und produktionstechnischen Anlagen. Danach müsse in Zukunft ein breites Spektrum von Produktionstechniken verfügbar sein, das von komplexen, maßgeschneiderten High-tech-Systemen bis hin zu einfachen standardisierten Maschinen reicht (z.B. Warnecke, Becker 1994). Im Fall des sog. Systemgeschäfts beschränken sich die Innovationsstrategien der Unternehmen vor allem auch immer weniger allein auf die Entwicklung der technischen Produkte. Vielmehr setzen viele Maschinenbauunternehmen zunehmend auf die Ausweitung ihrer Innovationsstrategien in Richtung produktbegleitender Dienstleistungsfunktionen. Dabei findet sich eine breite Palette von Möglichkeiten, die von produktbegleitenden Engineeringleistungen über kontinuierliche Wartungs- und Instandhaltungsleistungen, ständiger Modernisierung der Anlagen bis hin zum Betrieb der Anlagen reichen können (vgl. Lay 1997). Zunehmend deutlicher erkennbar ist daher eine Situation, die von einer ausgeprägten Unbestimmtheit der institutionellen Arrangements der Innovationsprozesse gekennzeichnet ist. Beobachtbar ist ein breites Spektrum sehr verschiedener Koordinationsformen der Innovationsprozesse, die nebeneinander existieren:

#### **4.1 Ausdifferenzierung der Innovationsnetzwerke**

Auf der einen Seite des Spektrums sind Innovationsstrukturen beobachtbar, bei denen eine Ausdifferenzierung der eingespielten Innovationsnetzwerke stattfindet. Dabei verliert der Maschinenbau seine zentrale Stellung im Prozeß der Technikentwicklung. Es entstehen branchen- und disziplinenübergreifende FuE-Beziehungen, die sich als „diagonale“ Vernetzungen bezeichnen lassen (vgl. Häusler 1990: 85 ff.). So beteiligt sich jetzt eine wachsende Zahl vor allem anwendungsferner Akteure an den Innovationsprozessen. Zu nennen sind hier vor allem die Entwickler von rechnergestützten Steuerungs- und Vernetzungskomponenten aus der Elektrotechnischen Industrie und der in den 80er Jahren schnell wachsenden Computer- und Softwareindustrie. Es handelt sich dabei vor allem auch um Unternehmen, die international agieren. Deren Innovationsstrategien haben daher nur einen begrenzten Bezug zu konkreten Anwendungssituationen. Sie zielen vielmehr auf eine möglichst breite Einsetzbarkeit der von ihnen entwickelten standardisierten Techniken. Ferner gewinnt der Wissenschaftsbereich deutlich stärkeren Einfluß auf die produktionstechnische Entwicklung; die Entwicklungsprozesse des Werkzeugmaschinenbaus werden FuE-intensiver, und es ist mehr grundlagenorientierte Entwicklung erforderlich. Typische Beispiele hierfür sind die bekannte Nutzung der Lasertechnologie für die Bearbeitung von Blechen, die forcierte Entwicklung von CNC-

Steuerungen mit integrierten Programmiersystemen sowie die anwendungsreife Entwicklung neuer Bearbeitungsverfahren wie das Hochgeschwindigkeitsfräsen. Diese Entwicklungsschritte, mit denen die bisherigen produktionstechnischen Technologiefelder nachhaltig erweitert werden, werden in beträchtlichem Umfang gerade auch an ingenieurwissenschaftlichen Instituten der Grundlagenforschung angegangen (z.B. Spur 1991).

Weiterhin werden zunehmend Innovationsfunktionen von Zulieferunternehmen des Maschinenbaus übernommen, was in vielen Fällen allein auf der Basis einer enge Kooperation zwischen den verschiedenen Unternehmen möglich ist (vgl. Schmierl 1997: 74 ff.). Diese Form der vertikalen Entwicklungskooperation ist Voraussetzung und Folge des Trends zur fortlaufenden Verringerung der Fertigungstiefe bei vielen Maschinenbaubetrieben; so haben einzelne Betriebe aus dem Werkzeugmaschinenbau ihre Fertigungstiefe in den 90er Jahren auf die reine Endmontage reduziert und beziehen jetzt neben den schon immer zugekauften Komponenten wie Steuerungen, Antriebe und Werkzeuge auch nahezu sämtliche früher selbst gefertigten mechanischen Komponenten ihrer Produkte.

Auf der Anwenderseite ist diese Entwicklung begleitet von der Fragmentierung vieler Unternehmen durch die Verringerung ihrer Fertigungstiefe, ihre Dezentralisierung in kleine unabhängige Unternehmenseinheiten und die Verlagerung und Internationalisierung vieler Produktionsstätten. Dadurch erweitern sich die bisherigen Anwendungsfelder der Produktionstechniken beträchtlich und die Hersteller sind mit einer tendenziell wachsenden Zahl von Anwendern unterschiedlicher Bedingungen konfrontiert.

Folge ist, daß sich sowohl die Unsicherheiten der Innovationsprozesse als auch die Interessensdivergenzen zwischen den Innovationsakteuren deutlich verstärken und Stabilität der bisherigen institutionellen Arrangements verloren geht. Innovationen verlaufen nun in teilweise komplexen nur schwer überschaubaren branchen- und disziplinenübergreifenden Vernetzungszusammenhängen. Wie neuere Befunde belegen (vgl. Hirsch-Kreinsen 1994; Rother 1996; Schmierl 1997), ist deren Funktionsfähigkeit und Koordinierbarkeit zunehmend prekär. Der Hauptgrund hierfür liegt darin, daß die große Zahl von Akteuren mit ihren unterschiedlichen Interessen aufwendige und teilweise langwierige Abstimmungsprozesse erfordert, die mit dem konkurrenzbedingt wachsenden Kosten- und Zeitdruck, unter denen Innovationen stehen, konfliktieren.

Entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe sind zunehmend nicht mehr nur technische Innovationen, sondern auch die organisatorischen Fähigkeiten, komplexere Netzwerkstrukturen zu koordinieren. Solche neuen Organisationsformen erfordern insbesondere einen neuen Umgang mit verfügbaren Innovationsressourcen (vgl. van Well 1996: 161). Ge-

fragt sind in diesem Fall zum einen betriebliche Organisationskompetenzen zum Aufbau und Management eines Netzwerkes, die sowohl die Netzwerkstrukturen auf Dauer sicher können als auch Flexibilität ermöglichen, das Netzwerk zu verändern<sup>10</sup>. Zum anderen gewinnen außerbetriebliche Steuerungsinstanzen eine wachsende Bedeutung für die Aufrechterhaltung der Innovationsfähigkeit des Maschinenbaus, insofern sie zu einer nahezu unverzichtbaren Voraussetzung für die Koordinierbarkeit komplexer Netzwerkstrukturen werden.

#### **4.2 Wachsende Bedeutung marktförmiger Innovationsbeziehungen**

Auf der anderen Seite des Spektrums sind Innovationsarrangements beobachtbar, die sich nunmehr durch zeitlich und sachlich sehr begrenzte Beziehungen auszeichnen, sie kommen marktförmigen Koordinationsmechanismen sehr nahe. Zwar fanden sich schon früher im Bereich der Standardmaschinen teilweise marktähnliche Beziehungen, doch werden diese jetzt ausgedehnt und generalisiert. Diese Entwicklung ist Folge des wachsenden ökonomischen Drucks auf die Maschinenbauunternehmen, Innovationskosten zu senken und Innovationszeiten zu beschleunigen. Zu erreichen suchen viele Entwickler diese Ziele dadurch, daß sie ihre bisherigen Innovationsprozesse reorganisieren und zerlegen: zentrale Maschinenkomponenten – oftmals als „core components“ bezeichnet - werden ausschließlich intern entwickelt, alle anderen Komponenten als Standardteile nurmehr auf dem (Welt-)Markt von Zulieferanten zugekauft und das Produkt standardmäßig einem möglichst breiten Kreis von Anwendern auf einem vergleichsweise anonymen Markt angeboten. Im Werkzeugmaschinenbau wird eine solche Strategie seit der Krise Anfang der 90er Jahre unter dem Label „Volumenproduzent“ als eine für viele Unternehmen unumgängliche Überlebensstrategie angesehen (z.B. Kreher 1992), die offenbar aber nur sehr zögerlich realisiert wird (vgl. Widmaier 1998: 95). Als zentrale Voraussetzung hierfür gilt vor allem eine nachhaltige Unternehmenskonzentration, die die bisherige mittelbetriebliche Branchenstruktur überwindet. Nur dann könne die notwendige Standardisierung der Produkte und eine „economy of scale“ der Entwicklungs- und Herstellungsprozesse realisiert werden. Empirisch läßt sich in der Tat ein Trend zur Unternehmenskonzentration im Maschinenbau beobachten, wobei es den Unternehmen nicht zuletzt auch darum geht, zentrales Innovationswissen unternehmensintern zu bündeln und Koordinationsprobleme bei Innovationen möglichst zu minimieren.

Diese Entwicklerstrategie korreliert mit Anwenderinteressen an möglichst kurzfristig und kostengünstig verfügbaren produktionstechnischen Lösungen. Beziehungen zu Herstellern werden nurmehr nach Kriterien des Preises, ihrer Lieferfähigkeit und vor allem der problem-

---

10 Zur Frage der Koordinierbarkeit dynamischer Netzwerke vgl. Miles/Snow 1986.

losen Einsetzbarkeit der Maschinen angeknüpft und bei Änderung der ökonomischen Situation kurzfristig aufgegeben. Langfristige netzwerkförmige Hersteller-Anwenderbeziehungen kommen unter diesen Bedingungen immer seltener zu Tragen.

Aber auch die Entwicklung von Sondermaschinen, die früher durch eingespielte und langjährige Hersteller-Anwenderbeziehungen geprägt waren, wird neuerdings sehr viel stärker marktförmig koordiniert. Besonders betroffen sind hiervon insbesondere Beziehungen zwischen Maschinenbauunternehmen und Großanwendern etwa aus der Investitionsgüter und Automobilindustrie, bei denen es um die Lieferung und den Einsatz einzelner Maschinen und Anlagenkomponenten geht. „Hier werden die langjährigen und gesichert scheinenden Kooperationsbezüge aufgrund der Konzernmacht der Abnehmer aufgebrochen“ (Schmierl 1997: 113). Ähnlich den weiteren Zulieferbeziehungen regelt sich die Zusammenarbeit zwischen den Maschinenausrüstern und den Anwendern immer mehr nach vielfach von den Anwendern gesetzten und in der Regel nicht verhandelbaren Preis-, Qualitäts- und Garantiekriterien. Die Auswahl des Maschinenherstellers für einen bestimmten Auftrag erfolgt dabei nach einem Preis- und Leistungsvergleich verschiedener Anbieter, die in Konkurrenz zueinander stehen. Die Tendenz zu einer fortlaufenden Erosion der Hersteller-Anwenderbeziehungen ist in solchen Fällen unübersehbar. Insbesondere verhindert der permanente Preisvergleich der Abnehmer feste und auf Dauer gestellte Beziehungen oder gar gemeinsame Entwicklungsanstrengungen, da eine Maschine oder Anlage immer nur beim günstigsten Anbieter gekauft wird.

## **5. Resümee**

Resümiert man die skizzierten Befunde, so ist historisch eine hohe Kontinuität netzwerkförmiger Innovationsmuster erkennbar, deren Grund der notwendige Anwendungsbezug der Entwicklungsprozesse ist. Die Netzbildung wird dabei durch die spezifische Betriebsgrößenstruktur des deutschen Maschinenbaus verstärkt. Großunternehmen waren bislang sehr selten und die große Zahl kleiner und mittlerer Unternehmen verfügt traditionell nur über begrenzte Innovationsressourcen, so daß insbesondere die Kooperation mit weiteren Unternehmen und wissenschaftlichen Institutionen zur Lösung von Innovationsproblemen naheliegt. Daher werden Innovationssprünge auch zumeist von neu hinzutretenden Akteuren induziert, über die neue Wissens- und Technologiebestände dem Maschinenbau zur Verfügung gestellt werden. Dadurch werden die bestehenden Innovationsnetzwerke erweitert, ihre Koordinationsprozesse werden schwieriger. Offenbar pendeln sich aber nach einigen Anlaufschwierigkeiten in einer historischen Perspektive die Netzwerkstrukturen immer wieder auf funktions-

fähige organisatorische Arrangements ein, so daß den Anwendern in der Regel zuverlässig die von ihnen benötigten produktionstechnischen Anlagen bereitgestellt werden können. Entscheidend hierfür ist der Lebenszyklus der Technologien: sind anfängliche Unsicherheiten überwunden und divergierende Interessen zu Übereinstimmung gebracht, so werden die neuen Wissensbestände in die kontinuierlich verlaufenden inkrementellen Innovationsprozesse integriert.

Aktuell allerdings erodiert dieses Innovationsmuster und das Spektrum der Koordinationsformen erweitert sich, ohne daß ein „Einpendeln“ auf eingespielte organisatorische Arrangements und inkrementelle Entwicklungsschritte erkennbar wäre. Aufgrund neuer technologischer Potentiale und verschärfter ökonomischer Bedingungen verstärken sich im Maschinenbau die skizzierten Innovationsdilemmata. Unter diesen Bedingungen lassen sich immer seltener eindeutige und vor allem auch anwendungsorientierte Innovationsstrategien realisieren. Es eröffnet sich ein weites Spektrum sehr unterschiedlicher Innovationsstrukturen, in deren Rahmen die Unternehmen Innovationsanforderungen zu bewältigen suchen. Einerseits gewinnen komplexe Netzwerkstrukturen an Bedeutung, deren Koordinierbarkeit sehr prekär ist. Die Konsequenz ist, daß das Spannungsverhältnis zwischen der Logik des Entwurfs und den Anforderungen praktischer Technikanwendung nurmehr sehr schwer bewältigt werden kann. Anders formuliert: der Prozeß der technologischen Konvergenz verläuft kaum mehr friktionslos.

Andererseits finden sich zunehmend marktförmige Koordinationsmechanismen in deren Rahmen Produktionstechniken ihren kundenspezifischen Charakter verlieren und nurmehr als „Commodities“ gehandelt werden. Diese Tendenz kann inzwischen bei einer ganzen Reihe von Investitionsgütern wie Werkzeug- und Textilmaschinen oder auch bei elektrotechnischen Anlagen wie Transformatoren beobachtet werden. Treibendes Moment dieser Entwicklung ist der konkurrenzbedingte Druck auf die Reduktion des Innovationsaufwandes und der Versuch, weit stärker als in der Vergangenheit, Prinzipien einer Skalenproduktion zu realisieren. Voraussetzung hierfür ist ein durchgreifender Wandel von Technologien und Entwicklungsmethoden, die jetzt eine Standardisierung und Modularisierung der Produkte und ihrer Komponenten erlaubt. Eine Folge ist, daß sich aufgrund der Flexibilität und Kombinierbarkeit der jetzt konsequent modular aufgebauten Produktionstechniken Probleme der Konvergenz immer seltener stellen; die hohe Anpassbarkeit der Technik erlaubt ihre schnelle Diffusion in die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche. Eine weitere Folge ist, daß immer weniger eindeutige Lebenszyklen der Produkte erkennbar sind; vielmehr werden sie konkurrenzbedingt drastisch reduziert. In dieser Perspektive setzen sich im Maschinenbau Innovations- und Produkt-

bedingungen durch, die denen der hochstandardisierten Entwicklung und Produktion der Elektrotechnischen und Elektronischen Industrie ähneln.

Dieser Wandel der Innovationsbedingungen hat vermutlich langfristig ganz erhebliche Konsequenzen für die Branchenstruktur des Maschinenbaus. Es verstärkt sich jener Prozeß, der schon Anfang der 90er Jahre als ein Zerfließen der Branchengrenzen diagnostiziert wurde (vgl. Häusler 1990: 42 ff.): Erstens brechen die gewachsenen Branchengrenzen auf. Der Maschinenbau integriert Technologien aus Branchen, mit denen er traditionell keine Beziehungen hatte; umgekehrt nutzen andere bislang fremde Branchen technologisches Wissen aus dem Maschinenbau. Wie skizziert sind hierfür vor allem, aber nicht nur, die engen Kooperationsbeziehungen zwischen dem Maschinenbau und der Elektronikbranche typisch. Erkennbar werden damit Branchenzuschnitte, die „transdisziplinären“ Charakter haben und damit völlig neue Modi der Wissens- und Technologieproduktion schaffen. Zweitens wandeln sich damit brancheninternen Strukturen. Wie angedeutet erodieren die gewachsenen „Maschinenbaukulturen“ und an ihre Stelle treten einmal Anbieter komplexer Komplettsysteme mit wachsendem Dienstleistungsanteil, die im Rahmen branchenübergreifender Innovationsnetzwerken entwickelt werden. Zum anderen finden sich die Entwickler und Produzenten nurmehr modularisierter Komponenten, die immer schwerer eindeutig den bisherigen Fachzweigen des Maschinenbaus zugerechnet werden können. Drittens steht damit die gewachsene Größenstruktur des Maschinenbaus mit der Dominanz mittelständischer Klein- und Mittelunternehmen zur Disposition. Die gegenwärtigen Konzentrationstendenzen in der Branche sind unübersehbar. Sind diese fraglos zunächst auf die Krisensituation in der ersten Hälfte der 90er Jahre zurückzuführen, so sind sie aber zugleich auf die sich mit den neuen Möglichkeiten der Modularisierung der Produkte neu eröffneten Gestaltungsmöglichkeiten der Produktionsprozesse zurückzuführen. Diese können sowohl für eine drastische Reduktion der Fertigungstiefe und die Konzentration auf nurmehr reine Montagebetriebe, als auch für die Nutzung der „economy of scale“ im Rahmen jetzt großbetrieblicher Strukturen genutzt werden.

Insgesamt gesehen befindet sich damit der Maschinenbau in einem nachhaltigen Wandlungsprozeß, dessen Ausgang keineswegs absehbar ist. Er ist dabei auf mittlere Sicht Konsequenz veränderter technologischer und ökonomischer Bedingungen. Auf lange Sicht aber schlägt sich in ihm vermutlich auch ein säkularer Bedeutungsverlust des Maschinenbaus für den wirtschaftlichen Wachstumsprozeß nieder. Der Maschinenbau und seine Produkte waren für die wirtschaftliche Entwicklung des 19. und 20. Jahrhunderts, die ja primär eine industrielle Entwicklung war, unverzichtbare Voraussetzung. Ihre Schlüsselrolle hat diese Branche zweifellos im Zuge des gesellschaftsstrukturellen Wandels, der oftmals mit Schlagworten wie

Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft umschrieben wird, an neue Disziplinen und Branchen insbesondere die der Informations- und Kommunikationstechnologie abgegeben. Wie sich langfristig der Maschinenbau in diesem Wandlungsprozeß verortet und welche Unternehmensstrukturen sich dauerhaft durchsetzen werden, ist derzeit allerdings nur schwer prognostizierbar.

## Literatur

- Asdonk, J.; Bredeweg, U.; Kowol, U. 1991: Innovation als rekursiver Prozeß. In: Zeitschrift für Soziologie, Jg.20, Heft 4, S. 290 - 304.
- Bechtle, G.; Lang, Chr. 1994: Die Grenzen eines erfolgreichen Innovationsmusters im baden-württembergischen Maschinenbau, Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Arbeitsbericht Nr. 34
- DeBresson, C.; Amesse, F. 1991: Networks of Innovators: A review and introduction to the issue. In: Research Policy 20, S. 363 - 379.
- Benad-Wagenhoff, V. 1989: Rationalisierung vor der Rationalisierung. Der zweite Umbruch in der Fertigungstechnik. In: Technikgeschichte Bd. 56, Nr. 3, S. 205 - 218.
- Bieber, D.; Deiß, M.; Hirsch-Kreinsen, H.; Schmierl, K. 1997: Neue Strukturen des Technikmarktes, mimeo, ISF München
- Braczyk, H.-J. (Hrsg.) 1997: Innovationsstrategien im deutschen Maschinenbau - Bestandsaufnahmen und neue Herausforderungen, Arbeitsbericht Nr. 83/Juli, Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart
- Buxbaum, B. 1919: Der deutsche Werkzeugmaschinen- und Werkzeugbau im 19.Jahrhundert. In: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie, Bd. 9, Berlin, S. 97 - 129.
- Dosi, G. 1982: Technological Paradigms and Technological Trajectories. In: Research Policy, 11, S. 147 - 162.
- Freyberg, Th. v. 1989: Industrielle Rationalisierung in der Weimarer Republik, Frankfurt/New York.
- Grabher, G. 1994: Lob der Verschwendung, Berlin.
- Häusler, J. 1990: Zur Gegenwart der Fabrik der Zukunft: Forschungsaktivitäten im Maschinenbau, MPIFG Discussion Paper 90/1, Köln, März.
- Hauptmanns, P.; Drescher, I. 1999: Der deutsche Maschinenbau als Anwender rechnergestützter Technik, mimeo, Ruhr-Universität Bochum.
- Hirsch-Kreinsen, H. 1993: NC-Entwicklung als gesellschaftlicher Prozeß. Amerikanische und deutsche Innovationsmuster der Fertigungstechnik, Frankfurt/New York.
- ders. 1994: Innovationspotentiale und Innovationsprobleme des Werkzeugmaschinenbaus. In: WSI-Mitteilungen, 2, S. 94 - 102.
- Jürgens, U.; Lippert, I. 1997: Schnittstellen des deutschen Produktionsregimes. Innovationshemmnisse im Produktentstehungsprozeß. In: Naschold, F. u.a. (Hrsg.): Ökonomische Leistungsfähigkeit und institutionelle Innovation, WZB Jahrbuch 1997, Berlin
- Lay, G. 1997: Dienstleistungen in der Investitionsgüterindustrie - Konsequenzen für Betriebsorganisation und Personal, mimeo, FhG ISI Karlsruhe
- Kalkowski, P.; Mickler, O.; Manske, F.: Technologiestandort Deutschland. Produktinnovationen im Maschinenbau: traditionelle Stärken - neue Herausforderungen, Berlin 1995 (Sigma).
- Kreher, P.-J. 1992: Viele Unternehmen bekommen ihre Kosten nicht mehr in den griff. In: Handelsblatt, 2.11.92, S. 29.
- Kowol, Uli 1998: Innovationsnetzwerke. Technikentwicklung zwischen Nutzungsvisionen und Verwendungspraxis, Wiesbaden.

- Matschoss, C. 1919: Ein Jahrhundert deutscher Maschinenbau 1819 - 1919, Berlin.
- Miles, R.E.; Snow, C.C. 1986: Organizations: New Concepts for New Forms. In: California Management Review 28 (3): 62-73.
- Mommertz, K.H. 1981: Bohren, Drehen und Fräsen - Geschichte der Werkzeugmaschinen, Reinbek.
- NIFA-Panel (DFG-Projekt NIFA-Panel der Ruhr-Universität Bochum) (Hrsg.) 1997: Mitteilungen für den Maschinenbau, Ausgabe 17, September.
- Noble, D.F. 1977: America by Design. Science, Technology, and the Rise of Corporate Capitalism, New York .
- Paulinyi, A. 1989: Industrielle Revolution. Vom Ursprung der modernen Technik, Reinbek.
- Porter, M.E. 1991: Nationale Wettbewerbsvorteile, München.
- Radkau, J. 1989: Technik in Deutschland. Vom 18. Jahrhundert bis zur Gegenwart, Frankfurt.
- Rosenberg, N. 1975: Technischer Fortschritt in der Werkzeugmaschinenindustrie 1840-1910. In: R. Rürup; K. Hansen (Hrsg.): Moderne Technikgeschichte, Köln, S. 216-242.
- Rother, F. W. 1996: Konzepte. Die Innovationsfähigkeit deutscher Maschinenbauer. In: Wirtschaftswoche Nr.23, 30.5., S. 71/72.
- Ruby, J. 1991: Der Weg von der Drehmaschine zum Drehautomaten im deutschen Werkzeugmaschinenbau. In: Technikgeschichte Bd. 58 Nr. 4; S. 297 - 314.
- Schmierl, K. 1997: Wandel der Markt-, Entwicklungs- und Kooperationsbedingungen im Werkzeugmaschinenbau. In: Bieber, D. u.a.: Neue Strukturen des Technikmarktes, mimeo, ISF München, S. 59 - 126.
- SFB 187 (Sonderforschungsbereich 187 der Ruhr-Universität Bochum) (Hrsg.) 1995: Mitteilungen für den Maschinenbau, Ausgabe 10, Mai.
- Silver, M. 1984: Enterprise and the Scope of the Firm; Oxford.
- Spur, G. 1991: Vom Wandel der industriellen Welt durch Werkzeugmaschinen, München/Wien.
- Warnecke, H. J.; Becker, B.-D.: Strategien für die Produktion, Stuttgart u.a. 1994.
- Well, B. v. 1996: Ressourcenmanagement in strategischen Netzwerken: In: von Hinterhuber, H.H.; Al-Ani, A.; Handlbauer, G. (Hrsg.): Das Neue Strategische Management, Wiesbaden, S. 160-185.
- Wengenroth, U. 1987: The electrification of the workshop. In: Cardot, F. (éd.): 1880 - 1980 Un Siècle D'Électricité dans le Monde, Paris, S. 357 - 366.
- Widmaier, U. 1998: Der deutsche Maschinenbau im Umbruch? In: WSI Mitteilungen 2, S. 92 - 101.
- Wittke, V. 1996: Wie entstand die industrielle Massenproduktion? Berlin.
- Wolf, H., Mickler, O., Manske, F.: Eingriffe in Kopfarbeit, Berlin 1992

**Als Arbeitspapiere des Lehrstuhls Technik und Gesellschaft an der Universität Dortmund sind bisher erschienen:**

Hirsch-Kreinsen, Hartmut: Industrielle Konsequenzen globaler Unternehmensstrategien, Arbeitspapier Nr. 1/1998

Bender, Gerd: Gesellschaftliche Dynamik und Innovationsprojekte, Arbeitspapier Nr. 2/1998

Laestadius, Staffan: Know-how in a low tech company - chances for being competitive in a globalized economy, Arbeitspapier Nr. 3/1999

Die Arbeitspapiere sind über den Lehrstuhl erhältlich.